

石川県千里浜海岸における海浜地形変化に関する基礎的研究

早川和宏¹・由比政年²・石田 啓³

2008年9月5日受付, Received 5 September 2008
2008年11月25日受理, Accepted 25 November 2008

A Field Study on the Morphological Variation in Chirihama Beach, Ishikawa Prefecture, Japan

Kazuhiro HAYAKAWA¹, Masatoshi YUHI² and Hajime ISHIDA³

Abstract

Middle-term variations of the cross-shore seabed profiles in the Chirihama beach, Ishikawa Prefecture, Japan, have been investigated using a set of field surveys collected over 9 years. The typical profile configurations are characterized by the presence of multiple bars. The movements of the bars are significant, and the focus is placed on the formations and migrations of these bars. The heights of offshore bars become as high as 4.6m at their maximum. The variation of the cross-shore bar locations is examined in detail. For the time variation, it is shown that the cross-shore periodic movements have been repeated a number of times with approximately 4-years interval.

はじめに

千里浜海岸は、羽咋市と宝達志水町に跨る延長約13kmの押水羽咋海岸のうち、能登有料道路今浜ICから羽咋川に続く延長約8kmの砂浜海岸の総称である(図1)。図2, 3(石田・高瀬ら, 1984)の等深線図及び断面図より、海底地形の特徴を見ると、水深5mを中心として砂州が2段, 3段に発達しており、海底勾配は約1/80~1/200である。また、図4は、1975年に国土交通省により撮影された、千里浜海岸周辺の航空写真を抜粋し、合成したものである。この写真からも3~4段の砂州が発達していることを確認できる。

連続する長大な砂浜海岸である千里浜海岸は、車両の走行が可能な「千里浜なぎさドライブウェイ」として全国的に知られており、石川県加越沿岸基本



図1 千里浜海岸位置図。

¹金沢大学大学院自然科学研究科環境科学専攻博士後期課程 〒920-1192 石川県金沢市角間町(Division of Environmental Science and Engineering, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-Machi, Kanazawa, 920-1192 Japan.

^{2,3}金沢大学理工研究域環境デザイン学系 〒920-1192 石川県金沢市角間町(School of Environmental Design, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-Machi, Kanazawa, 920-1192 Japan.

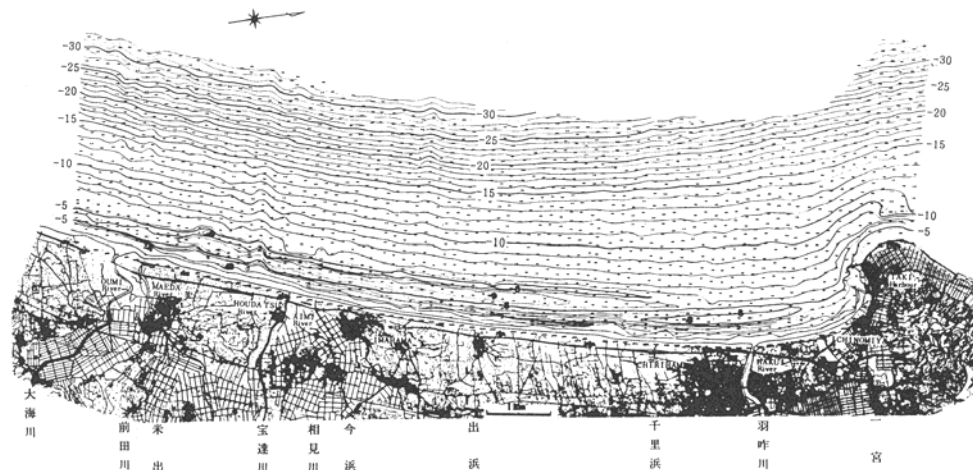


図2 押水羽咋海岸（千里浜）の等深線図（石田・高瀬ら，1984）.

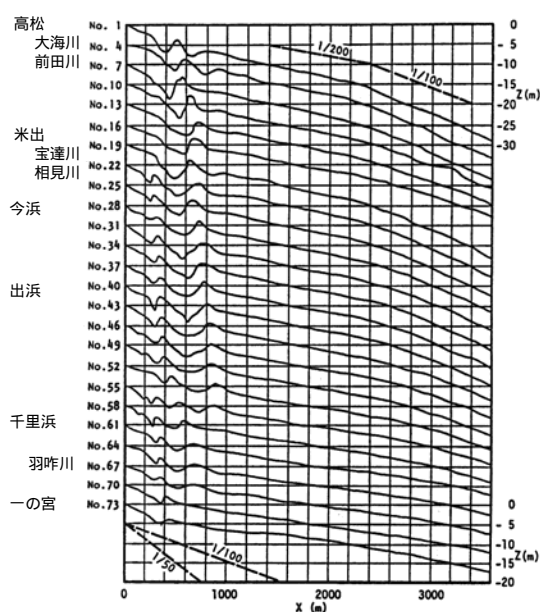


図3 押水羽咋海岸（千里浜）の海底断面図（石田・高瀬ら，1984）.

計画（2002年度策定）の中でも「集いと輝きのゾーン」として位置づけられている。しかしながら，近年，砂浜幅の縮小が顕著になり，ここ20年間では，最大で約50mの汀線後退が見られている（石川県，2008）。石川県では，2005年に千里浜海岸保全対策委員会を設置し，保全対策の検討を行っている（石川県，2008）。

千里浜海岸に代表される多くの砂浜海岸において発達が見られる多段砂州の形成機構は，非線形浅水波による岸沖漂砂機構と密接な関係があると認識されている（たとえば，石田・喜岡ら（1984））。したがって，広域流砂系における漂砂移動研究の一環と



図4 千里浜海岸航空写真（1975年 国土交通省撮影をもとに作成）.

して，多段砂州の基本特性の検討を行うことは，海浜保全の観点からも有意である。

本研究では、まず、千里浜海岸およびその周辺の海岸における既往の調査、観測および研究結果をもとに、海象特性、漂砂特性、沿岸粒度分布および汀線変化についてレビューを行い、千里浜海岸の基本特性について検討する。次に、千里浜海岸の海浜地形変化の基礎的研究として、国土交通省金沢河川国道事務所による既往深淺測量結果（4測線，1998～2006年）をもとに、岸沖方向の断面形状、多段砂州の発達規模および離岸距離の経年変化、さらには、測量期間中の汀線変化量との関連について解析を行い、多段砂州の変動特性について検討する。

・海象特性

羽咋地域における風の観測データ（図5）によると、

E～ENEの陸風が年間を通して卓越するが、10m/s以上の強風については、NW～WSWの海風が卓越する。これら西側からの強風は、冬季季節風によるものが多い。図6は、石川海岸松任地区徳光沖合1500m地点（水深約15m）に設置された海象計で、波高および波向きを観測した結果を示している。これによると、夏期の波向はN～Wと広範であり、NNW～NWにやや卓越する。波高は有義波高1m以下のものが多く、平穏な様相を呈する。冬季の波向はNW～Wに卓越し、有義波高1m以上の高波浪が頻繁に来襲する。春期及び秋期は遷移期間となっているが、高波浪の出現頻度は秋期の方が高い。年最大有義波高は、5～8m程度に達する。

流況に関しては、加越沿岸沖合に、沿岸に沿って北向きの海流（対馬海流）が存在している（図7）。

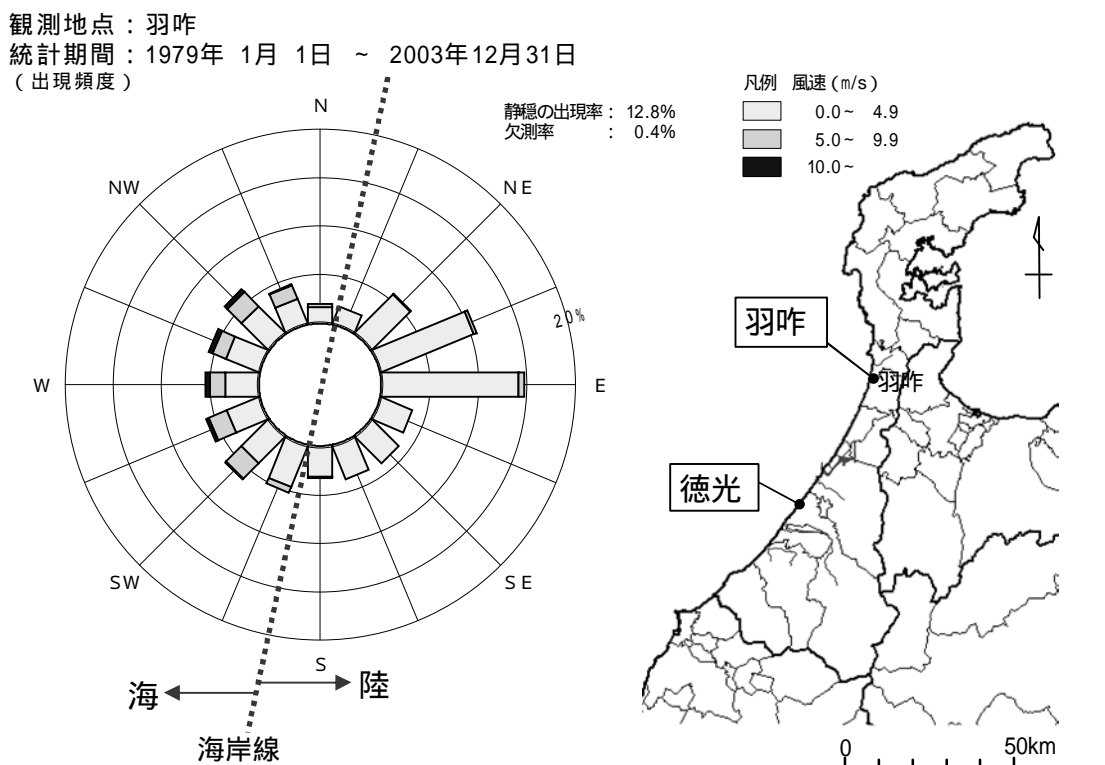


図5 羽咋における風向・風速出現頻度（アメダス）。

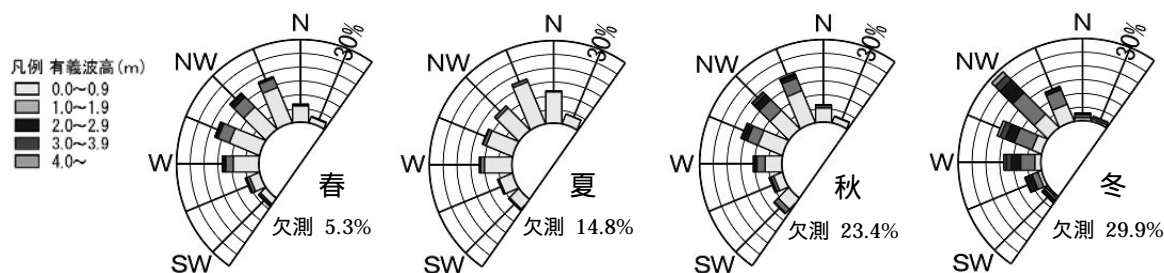


図6 徳光観測所における波浪の方向別出現頻度（国土交通省金沢河川国道事務所，1995-2004）。

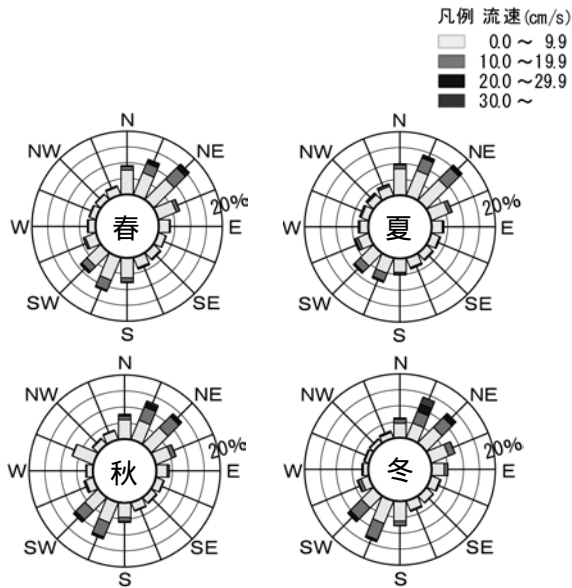


図7 徳光観測所における流況の方向別出現頻度
(国土交通省金沢河川国道事務所, 1995-2004)。

既往の現地観測結果によると(田中ら, 1997), 冬期の季節風発達時には, 北向きの流速が卓越する傾向があり, 水深15~30mの沖合においても, 10cm/s以上の流速が生じ, 細かい底質の移動や有意な地形変化が認められている。また, 石川県によって, 千里浜から沖7~14kmの海域で流況観測が行われており(図8), 北上する対馬海流が能登半島の付け根の滝崎沖で反転し, 海岸に向かう南向きの流れが生じるとの結果が得られている。観測された流速は大半が20~30cm/sであり, 石田・高瀬ら(1984)は, 加越沿岸沖合を北上してきた浮遊砂が, 滝崎沖で南下する流れによって千里浜へ漂着し, 海浜形成に寄与していると推定している。

・漂砂特性

図9(石田・高瀬ら, 1984)に加越沿岸の汀線における砂の粒度特性を示す。高松~北端の羽咋~ノ宮までの海岸では, 代表的な粒径(d_{60})は0.15mm前後, 均等係数(U_c)は1.0~1.5であり, 大部分が細砂であることが認められる。また, 北から南に移動するにつれ, 礫質のものが含まれる。図9における調査地点のうち, 高松とノ宮の2地点について, 汀線直角方向水深50mまでの粒度分布特性を検討した結果, 両地点において, 粒径(d_{60})は岸沖方向にほとんど変化が無く, 均等係数(U_c)は1.0~2.0の範囲内であり, 均一な砂が岸沖方向に分布していることが確認されている(石田・高瀬ら, 1984)。石田・高

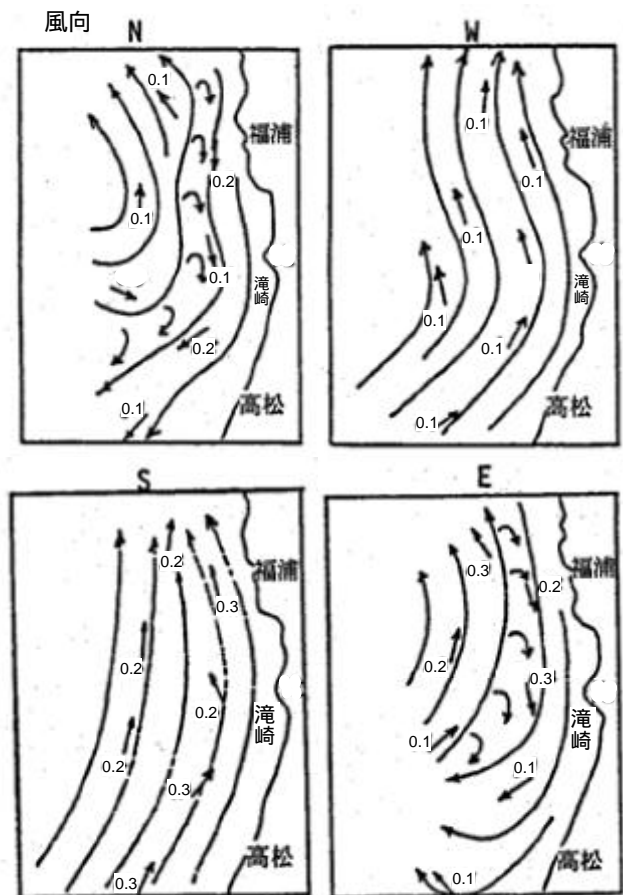


図8 風向と海流の流況(人工礁漁場造成事業志賀地区調査委託業務報告書, 石川県農林水産部水産課, 1983)。

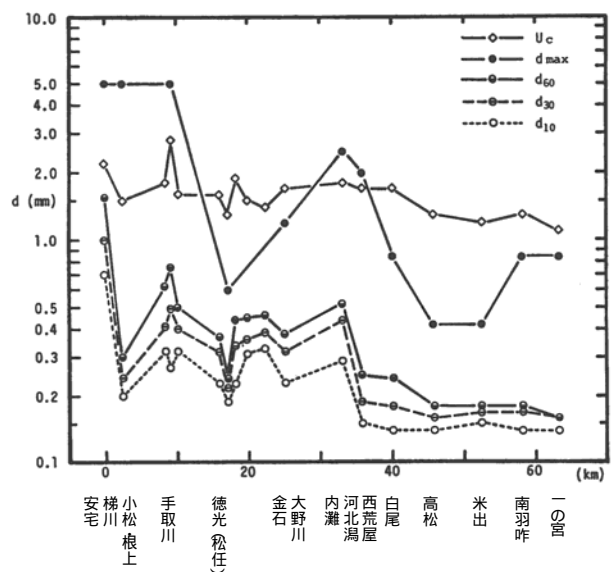


図9 加越沿岸の汀線における砂の粒度特性(石田・高瀬ら, 1984)。

瀬ら（1984）は、手取川などの河川から出る砂が、対馬海流に乗って北上する過程でふり分けられ、均一微小粒径の砂で構成される砂浜が千里浜海岸を形成していると推定している。

国土交通省金沢河川国道事務所資料（2003）,あるいは、田中ら（1997）の研究によると、波による沿岸漂砂は、図10のように冬期には北向き、夏期は逆転して南向きに卓越し、通年では南向きに卓越するとしている。また、水深10m以深では海岸線にほぼ平行な海岸流が存在しており、この流れは年間を通じて北向きの頻度が強いので、沖合に流出した土砂はこの流れに乗って、沿岸漂砂となって滝崎方面に向かっていていると推定している。さらに、冬期は高波浪の継続的な来襲により沖向き漂砂が卓越し、夏期

は台風により短期的に沖向きに漂砂が移動する時期はあるものの、比較的静穏な時期であるため、冬季に沖向きに移動した漂砂が岸寄りに戻ってくる時期と判断している。

・沿岸粒度分布

図11は、金沢河川国道事務所が1995、1999年度に実施した調査を元に作成された、海底部も含めた底質の中央粒径の分布図である。金沢港以南では、手取川や梯川河口周辺において中央粒径2.0mm以上の砂礫質の底質が、その他の汀線付近では中央粒径0.2～0.5mmの砂が分布しており、沖合に行くほど粒径は細かい。金沢港以北では、滝崎を越えたところま

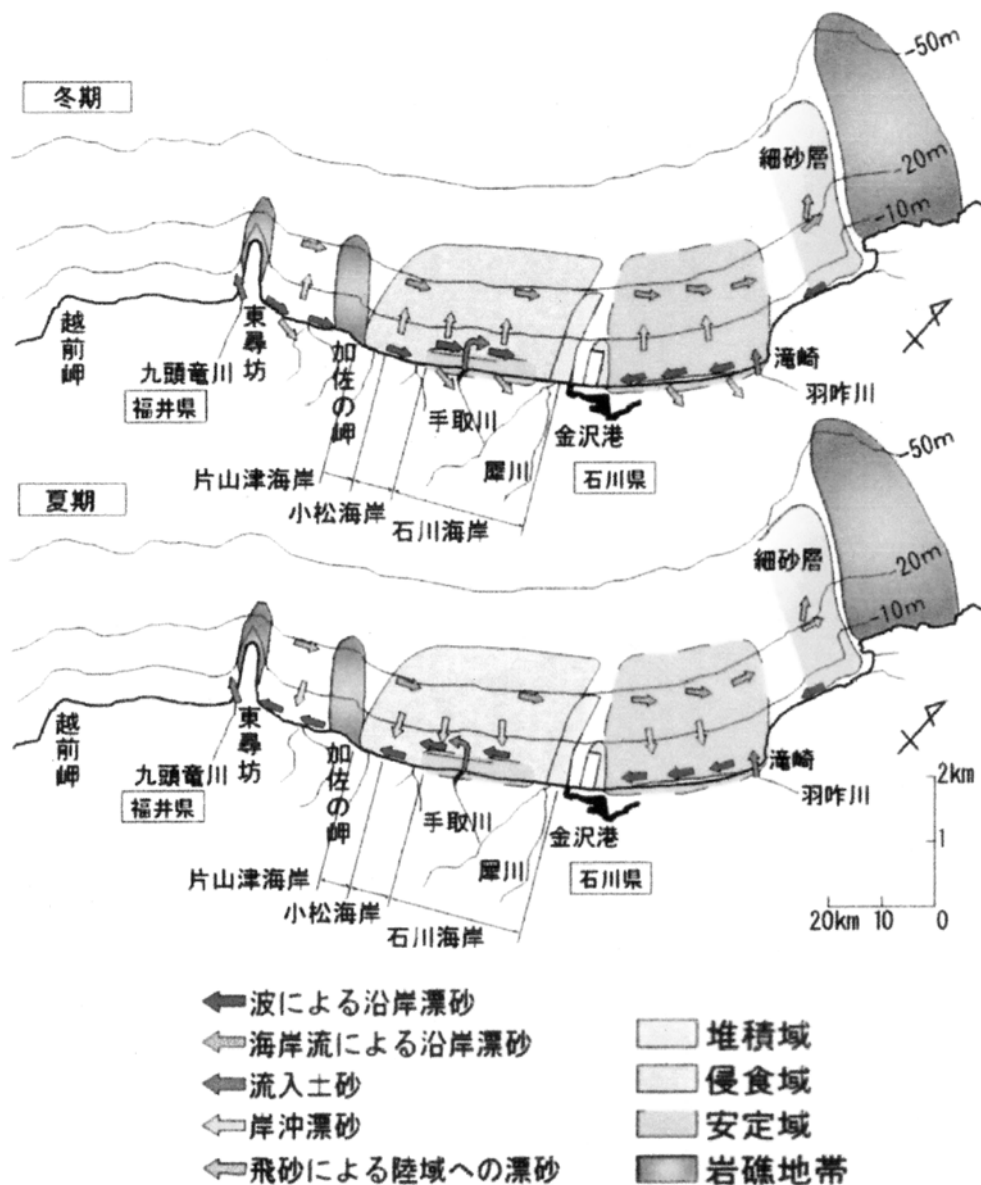


図10 漂砂移動模式図（国土交通省金沢河川国道事務所，2003）.

での範囲において、中央粒径0.2mm未満の細砂が全域に分布しており、沖合方向にも一様である。図12は、2001年に石川県が実施した能登半島の西側の高岩岬からかほく市（旧高松町）における底質調査の結果である。全域的に細砂が分布している結果となっている。また、水深40～50mの沖合にも及び、分布形状の季別変化が認められ、底質移動が活発であることを示している。このような底質の分布からも、底質が沿岸を流れる北向きの海流によって輸送され、粒径の小さい成分ほど北へ移動し、能登半島

の滝崎などの背後、つまり地形的に遮蔽域となる部分に堆積していると推定できる。

・汀線変化

図13は、1967～2003年の空中写真の潮位補正を行った読み取り汀線位置について、1967年を基準年とした汀線変化量を表したものである（石川県千里浜海岸保全対策検討委員会、2007）。1992年までは侵食と堆積はバランスしているが、1999年に侵食が卓

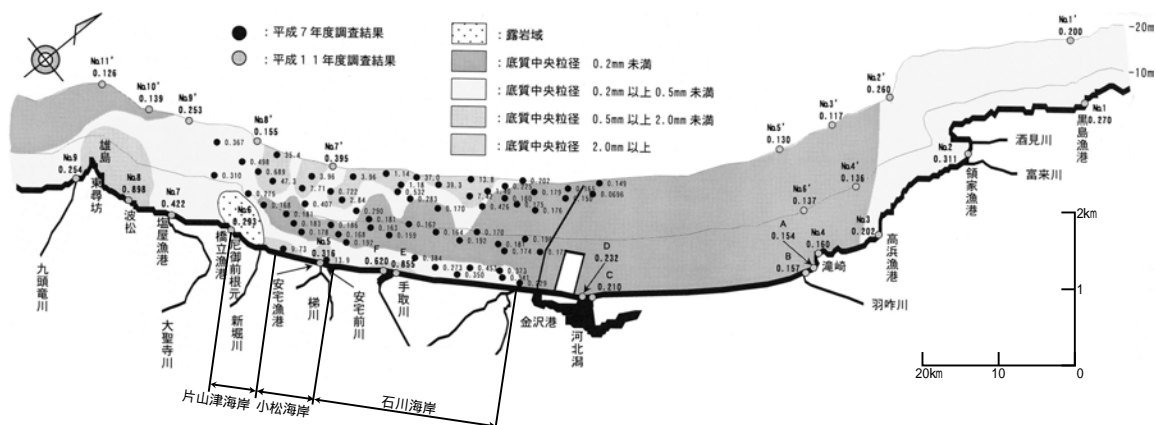


図11 底質中央粒径分布（海底表層部）（1995，1999年度調査結果，国土交通省金沢河川国道事務所）。

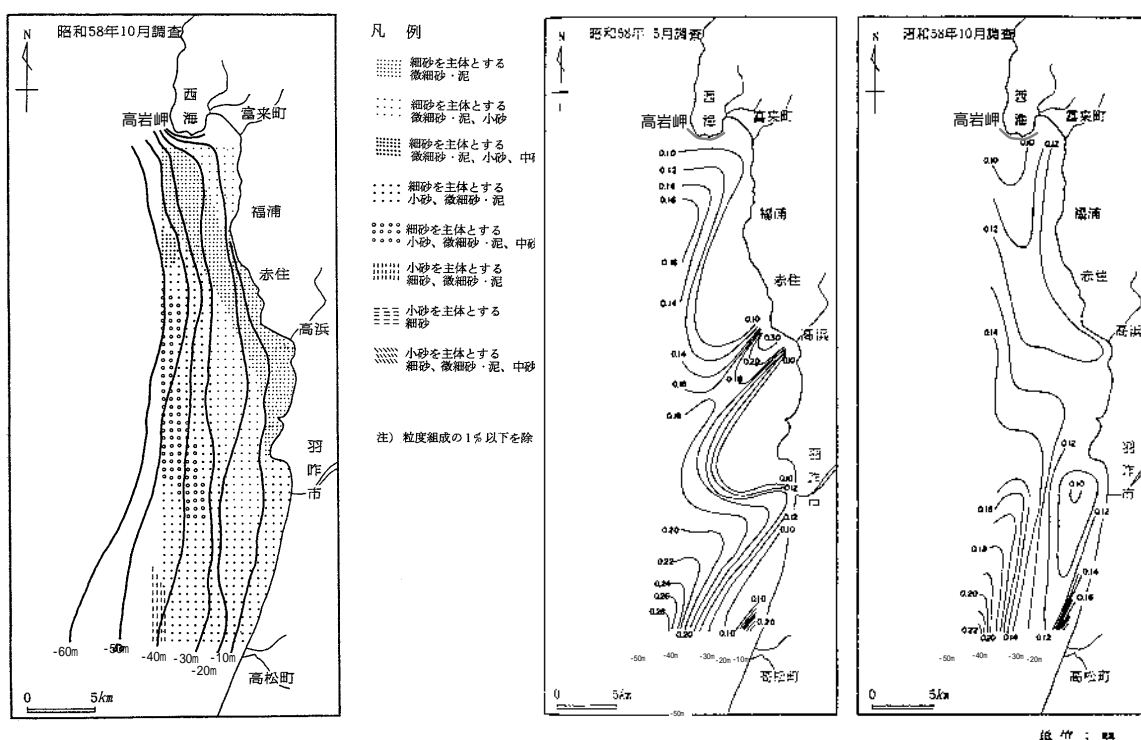


図12 周辺海域の底質と中央粒径等値線（1983年度海域生産向上調査報告書，石川県）。

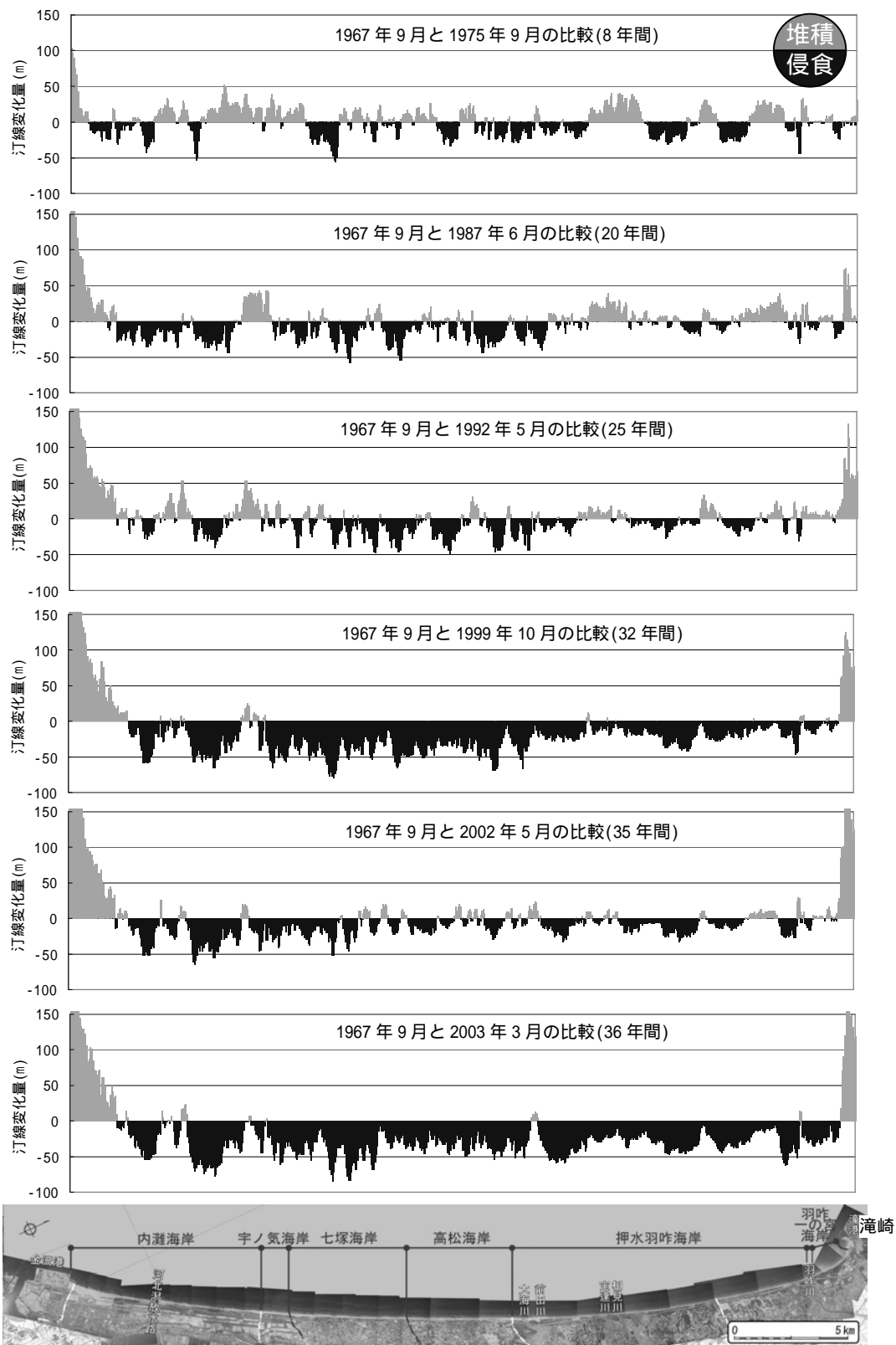


図13 汀線変化量 (1967年～2003年：1967年基準) (石川県千里浜海岸保全対策検討委員会，2007)。

越し、その範囲も南北方向に拡大している。2002年には侵食傾向が一旦弱まっているものの、2003年には再び、侵食傾向が強まっている。一方、内灘海岸の金沢港に接する南端部及び滝崎周辺では、撮影期間全般にわたり堆積傾向となっている。

・沿岸砂州の変動特性

本研究では、国土交通省金沢河川国道事務所において、9年間実施されてきた深浅測量結果に基づいて海底地形変化、特に沿岸砂州変動の解析を行った。今回使用したデータは1998年～2006年に取得されたものである。なお、測量は、年に1回、主に秋季（9～11月）に実施されている。まず、図14の範囲から、千里浜海岸（No.1～60の4測線）に着目することとし、計75個の砂州を抽出した。岸沖方向の測量範囲は、基点から1～3km程度であり、この内、基点から1.5kmまでのデータを使用した。次に、砂州頂部とトラフでの水深の関係や、沖向きを正として、朔望平均干潮位（T.P.+0.01m）を基準とした基点からの離岸距離、比高（砂州頂部高とトラフ底部高の差、図15参照）の存在範囲など、個々の砂州形状に関する基本特性を検討した。解析にあたっては、測量誤差を考慮して、トラフ底部と砂州頂部の差（比高）が20cmより大きいもののみを砂州として抽出した。また、砂州頂部（あるいはトラフ底部）となる点の地盤高が2測点以上で一致（差が20cm以内）する場合には、離岸距離および地盤高として、該当測点間の平均値を取って対応した。

1）砂州断面形状の基本特性

図16に、対象領域内の4測線について、断面地形の経年変化を示す。また、解析期間（1998～2006年）中の期間最大・最小および平均地盤高を図17に示す。図16より、いずれの測線についても、複数の砂州の存在と活発な移動が確認できる。対象領域全域において、砂州は多くの場合2～3段であり、最多で5段の場合が確認された。武田（1998）は、日本における海浜型の分類と分布について示している（図18）。これによると千里浜海岸は3段の砂州を有する3b型に分類されており、本研究とも整合する結果となった。沖側砂州の頂部位置は、基点からの離岸距離およそ400～1200mの範囲で移動している。基点からの離岸距離1200mより沖側では、砂州の存在や発達などの有意な地形変化は認められず、移動限界水深は7～8mであることが確認された。図17の期間平均地盤高を見ると、汀線付近では1/50程度である海底勾配は

沖に向けて徐々に緩やかになっており、その後、水深6m付近で平均地形は平坦となり、さらに沖側では再び緩やかな、海底勾配1/100程度の斜面へと変化する。

2）砂州比高・離岸距離の経年変化

図19に、砂州頂部高と比高との関係を示す。沖側砂州（砂州頂部の離岸距離 $y_b > 460\text{m}$ ）の比高は、頂部水深4.2m周辺（離岸距離約720mに相当）で、最大4.6m程度の大規模なものとなっている。なお、砂州の比高は、最初、沖へ移動するにつれて大きくなり、ある距離で最大となった後に減少する。これは、既往の報告（たとえば、大森ら、1971）とも一致する。一方、岸側砂州については、頂部水深3～3.5m（離

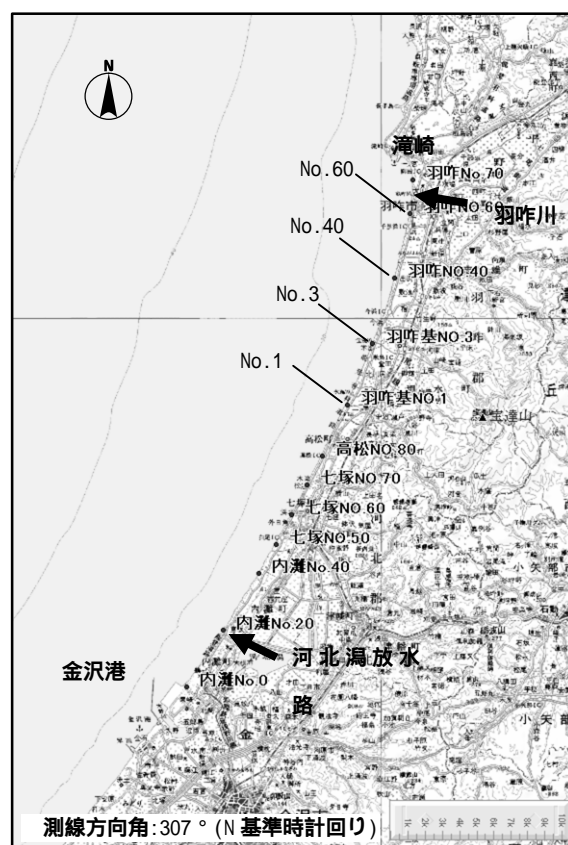


図14 測線位置図。

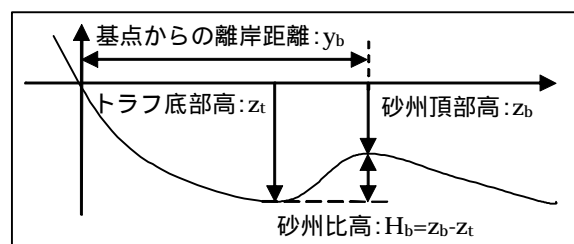


図15 砂州諸元の定義。

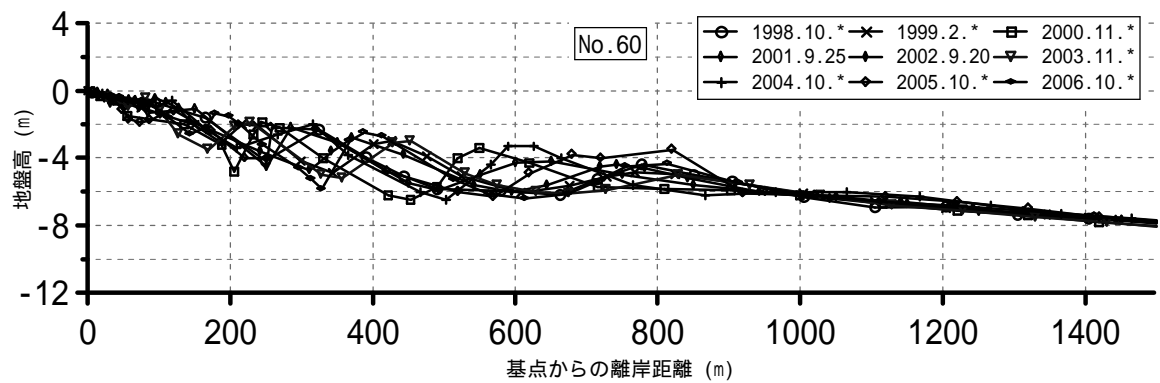
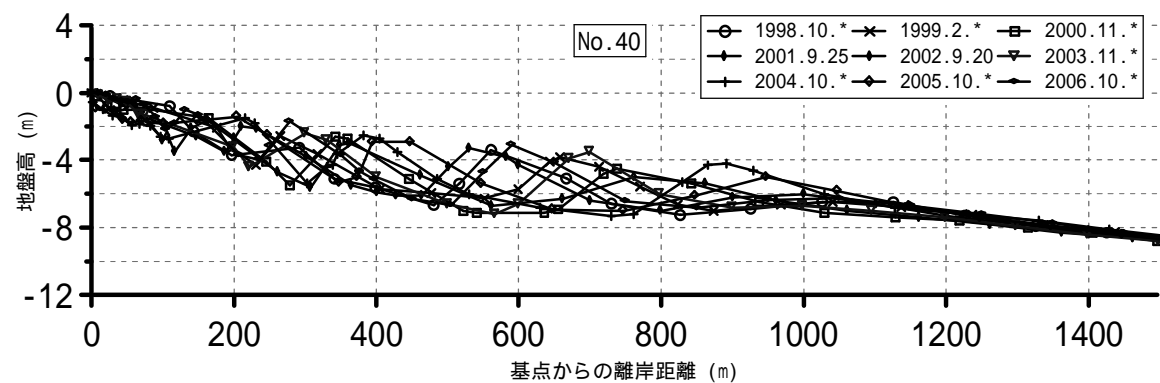
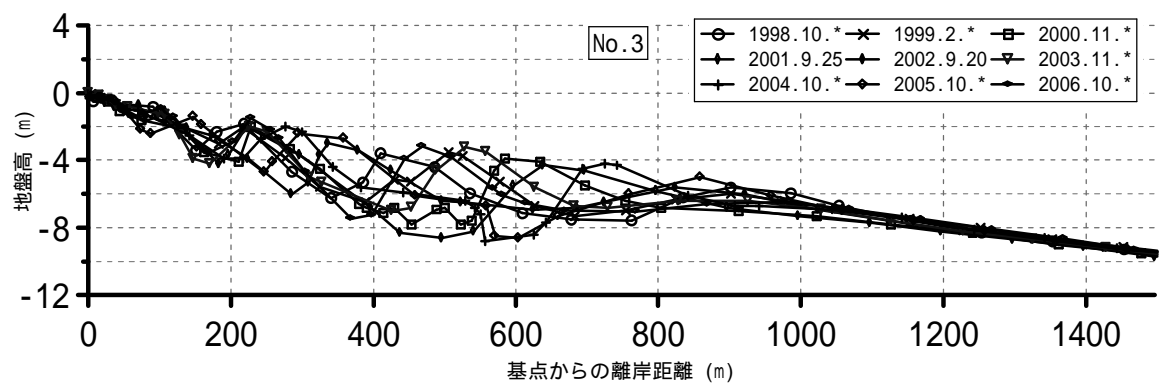
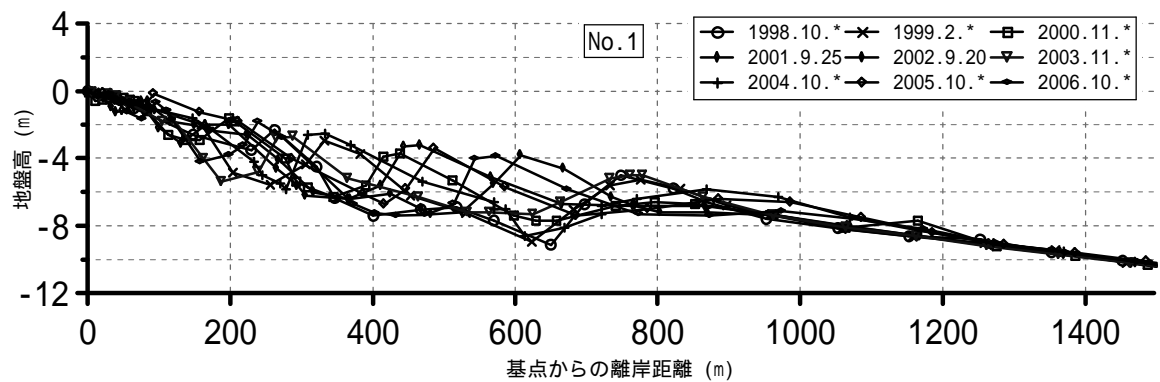


図16 各測線の断面地形変化.

岸距離約390m)付近に比高の弱いピークが見られる。なお、各測線における比高の最大値は、およそ、3.3～4.6mの範囲で推移しており、大規模な砂州が発達していることを確認している。

次に、砂州頂部高とトラフ底部高の関係を図20に示す。両者間の回帰直線の勾配は1.53であり、米国西海岸に対して報告されている値(=1.69)(Keulegan, 1945)より小さく、石川海岸松任地区に対して示された値(=1.51)(由比ら, 2006), および大森ら(1971)が日本の沿岸に対する平均値として示した値(=1.47)に近い結果となった。

図21は、各測量年毎で観測されたすべての砂州について、砂州比高の経年変化を示したものである。先に述べたように、沿岸砂州は岸沖方向に周期的に変動し、その過程において、離岸距離400～700m付近で最大の比高を取っている。

図22は、横軸に測量年、縦軸に頂部離岸距離を取り、図21の砂州比高をプロットの大きさで相対的に表現し、砂州位置および比高の経年変化を表示したものである。沖側の砂州は、離岸距離200m付近で形成され、比高を増しながら沖向きに移動して、離岸距離400～700m付近で最大比高をとった後に、離岸距離1000m前後に達すると消失している様子が確認できる。砂州が形成されてから、沖合に消失するまでの期間は8年程度と推定される。また、この一連のサイクルは、4年程度の間隔で繰り返されており、観測期間中に約2～3サイクルの沖向き移動が確認できる。また、沖側砂州が沖に向かう移動速度については、離岸距離600～800mまでは100m/year前後であり、800～900m付近では200m/year前後、これより沖側では、大きくても100m/year程度となることが確認できる。一方、最も岸側の砂州は、2～3年の周期で岸側に移動し、消失(武田(2003)によるところのバームに変化)しており、岸側に向かう移動速度は、大きくても100m/yearであることが確認できる。

3) 汀線位置の経年変化と砂州位置との関係

次に汀線変化と沿岸砂州位置の関連について検討を行った。図23は、深浅測量結果から読み取り可能な各測線の汀線位置について、1998年を基準とした各測量年(2000～2006年)における変化量をプロットしたものである。

測線1では、期間全般において汀線は後退傾向にあり、2000年と2005～2006年に特に大きく後退しており変化量は約20～35mである。これは図22において、最も沖側の砂州が離岸距離900mより沖側に存在する年と一致している。測線3では、2003年までは、2001

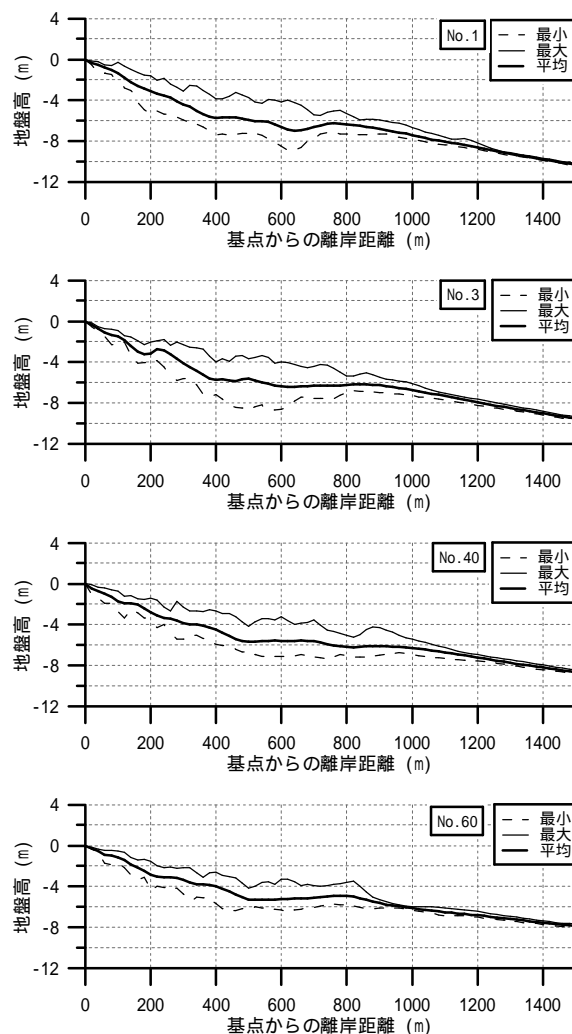


図17 測線3における期間最大・最小・平均地盤高。

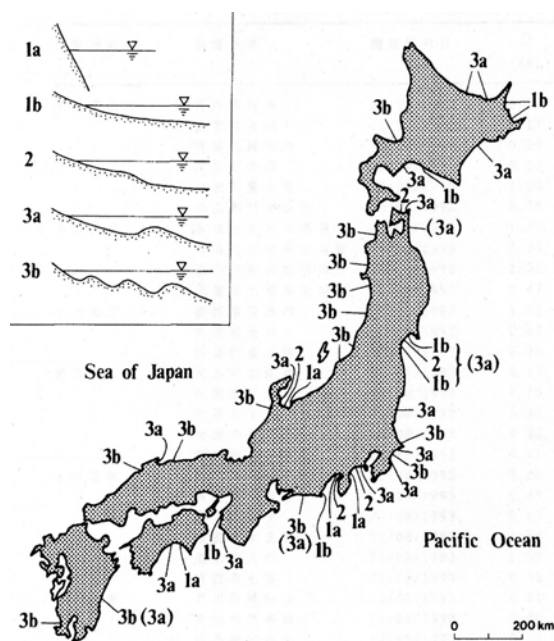


図18 日本における海浜型の分類と分布(武田, 1998)。

年の約40mをピークとした前進傾向にあるが、2004年以降は、後退傾向に転じており、後退量は大きくなっている。図22においては、汀線が前進傾向を示す期間は、最も沖側の砂州は、600m付近に存在し、その規模は3.9～4.2mであり、後退傾向に転じている期間は、800m付近から沖側に移動している。

測線40では、2000～2001年までは前進傾向、2002年以降は後退傾向を示しており、後退のピークは2004年の約40mとなっている。図22においては、汀線が前進傾向を示す期間には、最も沖側の砂州は、800m付近に存在し、その規模は3.7mであり、後退傾向に転じている期間では、2003年を除いて、900m付近から沖側に移動している。

測線60では、2003年には約5m程度前進しているものの、期間全般において後退傾向にある。ピークは2004年の約35mである。これは図22における最も沖側の砂州が、期間を通して最も沖側に位置する年と一致している。

．おわりに

本研究では、千里浜海岸周辺の広域流砂系に関する研究の一環として、千里浜海岸における沿岸砂州の変動特性について検討を行った。その主要な成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 9年間の測量データを4測線について解析し、計75個の砂州を抽出した。領域全域で砂州は一般に多段であり、沖側砂州は、最大で4.6m程度の比高を持つ大規模な形へと発達することが確認された。
- (2) 対象領域内の沿岸砂州は、形成・冲向き移動・消失といった一連の過程を繰り返していることが観察された。形成から消失までの期間は8年程度と推定される。また、これらのサイクルの繰り返し間隔は、4年前後であり、観測期間中に約2～3サイクルの変動が確認された。冲向きの移動速度は、離岸距離600～800mまでは100m/year前後、800～900m付近では200m/year前後、これより沖側では、大きくても100m/year程度となることが確認された。一方で、最も岸側の砂州は、2～3年の周期で岸側に移動し、岸向きの移動速度は、大きくても100m/yearであることが確認された。
- (3) 対象領域内の汀線は近年、後退傾向にあり、最も沖側に位置する砂州の沖側への移動と関連性を有していることが確認された。また、汀線が前進する期間は最も沖側に位置する砂州はある一定の離岸距離を保ち、対象領域内においては、約600～800m付近であり、その規模は3.7～4.2mに達す

ることが確認された。

以上、本論文では、砂州断面形状の基本特性や、離岸距離の経年変化等、測量データそのものから得られる沿岸砂州の変動特性について示した。今後、経験的固有関数法（EOF）などを用いて、沿岸砂州の周期変動に寄与する特徴的モードの抽出を試み、変動特性のより詳細な把握を図っていきたい。

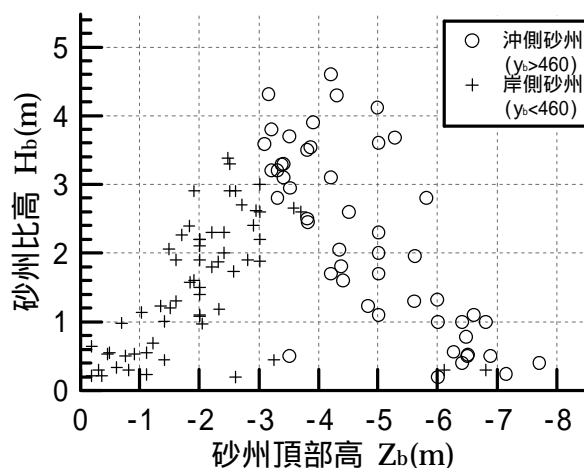


図19 砂州比高と頂部高.

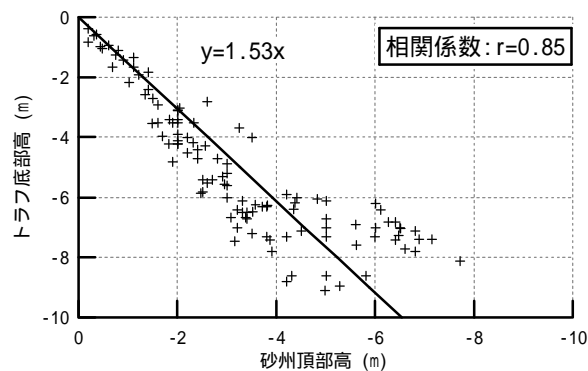


図20 砂州頂部高とトラフ底部高.

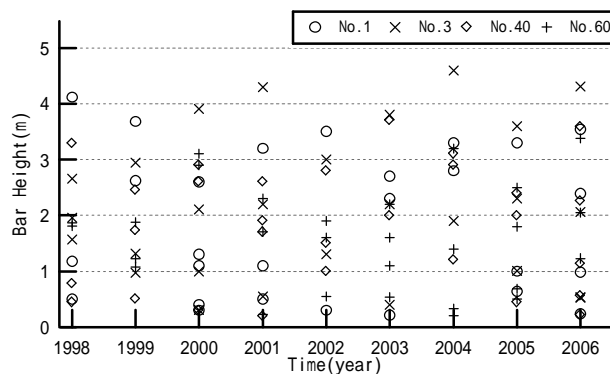


図21 砂州比高の経年変化.

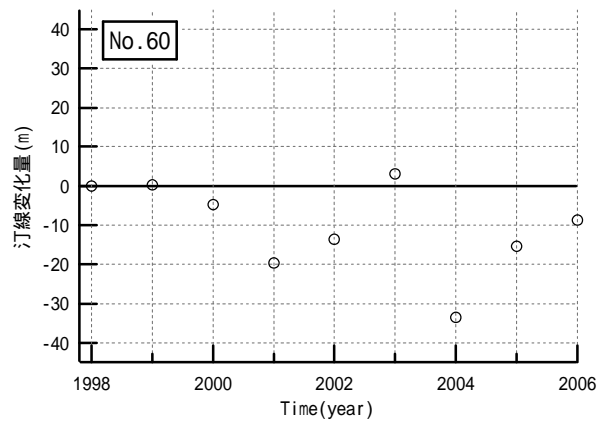
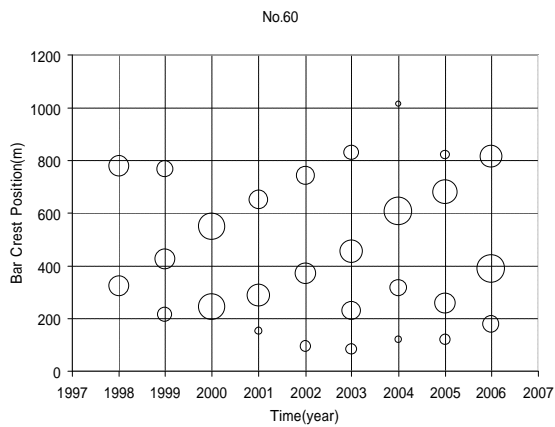
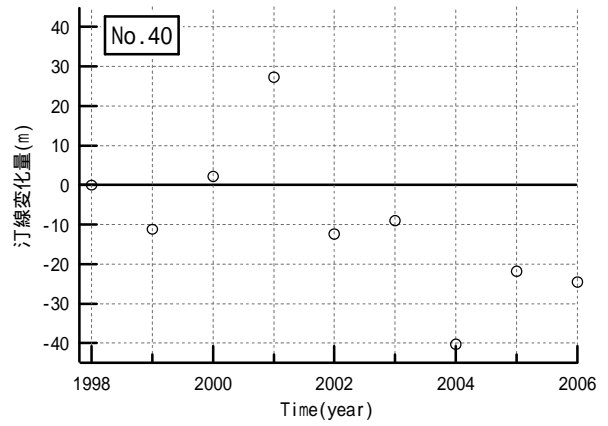
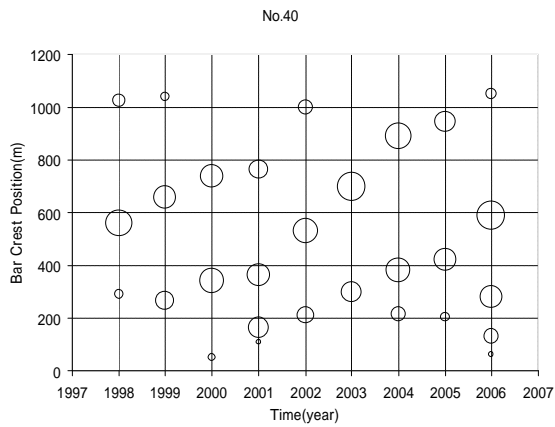
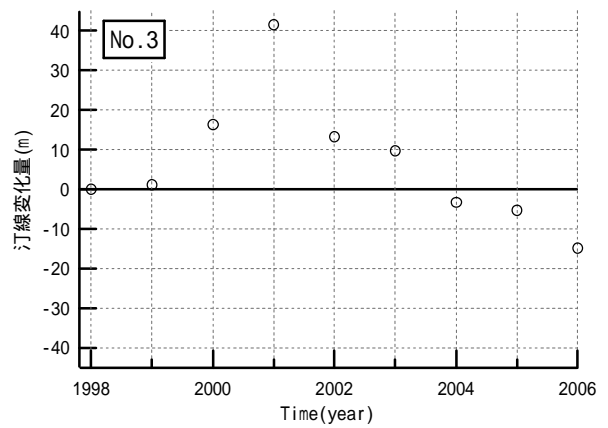
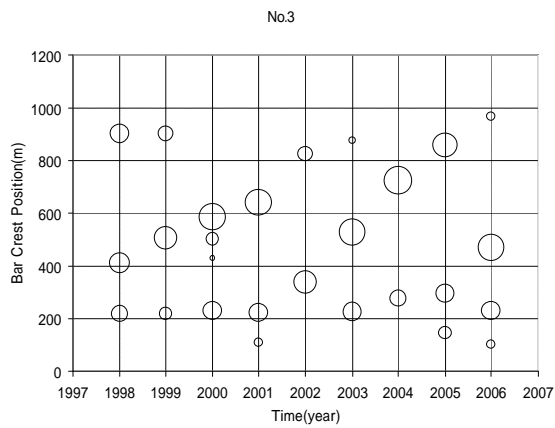
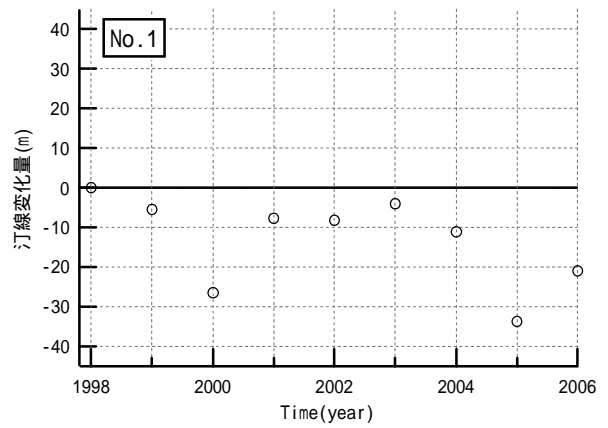
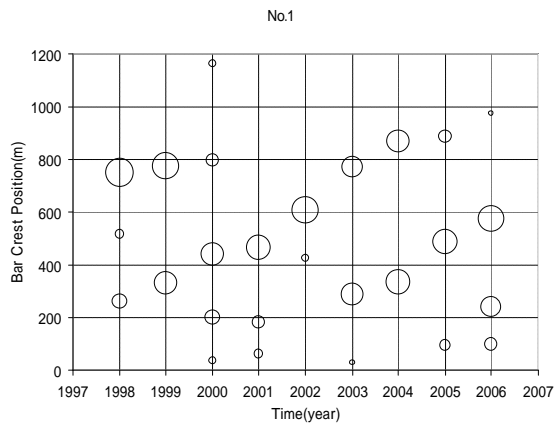


図22 砂州離岸距離・比高の経年変化.

図23 汀線位置の経年変化 (1998年基準).

文 献

- 石川県：千里浜海岸保全対策検討委員会（オンライン），
<http://www.pref.ishikawa.jp/kasen/chirihama-i>，参照 2008-08-22.
- 石田 昭・喜岡 渉・園部智司・出淵政人，1984：石川海岸における砂州の現地観測 .土木学会第39回年次学術講演会講演概要集，第2部，191-192.
- 石田 啓・高瀬信忠・長原久克・浦 良一，1984：渚ドライプウェーを有する千里浜海岸の現況と侵食対策 .第31回海岸工学講演会論文集，355-359.
- 大森昌衛・茂木昭夫・星野通平，1971：浅海地質学．東海大学出版会，445p.
- 武田一郎，1998：日本海沿岸における後浜上限高度．地球科学，**52**，71-81.
- 武田一郎，2003：バーの段数と後浜上限高度との関係．地形，**24/4**，407-417.
- 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道・浅野 剛，1997：石川海岸における漂砂機構．海岸工学論文集，**44**，661-665.
- 由比政年・山田文彦・楳田真也・石田 啓，2006：石川海岸松任地区における沿岸砂州の長期変動特性 .海岸工学論文集，**52**，566-570.